

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ЕЛЕЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. И.А. БУНИНА»

**С.С. Токарева, Н.А. Ярлыкова**

**ПЛАН-КОНСПЕКТ ПО КУРСУ ФИЗИКИ  
(РАЗДЕЛ «МЕХАНИКА»)**

Учебно-методическое пособие  
для обучающихся  
Центра среднего специального образования

УДК 531  
ББК 22.2  
Т 51

*Печатается по решению редакционно-издательского совета  
Елецкого государственного университета им. И. А. Бунина  
от 28.01.2020 г., протокол № 1*

Рецензенты:

*С.Ю. Радин*, кандидат технических наук, доцент кафедры технологических процессов в машиностроении и агроинженерии Елецкого государственного университета им. И.А. Бунина;

*Е.С. Токарева*, председатель цикловой комиссии математических и общих естественнонаучных учебных дисциплин Федерального Агентства железнодорожного транспорта ЕТЖТ филиала ФГБОУ ВО «Ростовский государственный университет путей сообщения» (г. Елец)

**С.С. Токарева, Н.А. Ярлыкова**

**Т 51** План-конспект по курсу физики (раздел «Механика»): учебно-методическое пособие для обучающихся Центра среднего специального образования. – Елец: Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина, 2020. – 38 с.

**ISBN 978-5-00151-155-7**

В учебно-методическом пособии излагаются краткие теоретические сведения по курсу физики (раздел «Механика»). Предназначено для обучающихся всех направлений подготовки, изучающих данную дисциплину, согласно учебному плану Центра среднего профессионального образования ЕГУ им. И.А. Бунина.

Пособие подготовлено согласно тематике рабочей программы учебной дисциплины и включает краткий теоретический материал с возможностью использования других дополнительных литературных источников и электронных ресурсов.

УДК 531  
ББК 22.2

**ISBN 978-5-00151-155-7**

© Елецкий государственный  
университет им. И.А. Бунина, 2020

# 1. ВВЕДЕНИЕ.

## ЕДИНИЦЫ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

*Физическая величина* – одно из свойств физического объекта (явления, процесса), общее в качественном отношении для многих физических объектов, но в количественном отношении индивидуальное для каждого из них.

Физическая величина применяется для описания материальных систем и объектов, изучаемых в физике, химии и др.

Физические величины подразделяются на основные и производные.

*Основными* являются физические величины и единицы, выбираемые произвольно и независимо друг от друга.

*Производными* являются физические величины и их единицы, которые определяются либо через основные единицы, либо через другие производные единицы с помощью определяющих уравнений, представляющих физические законы или определения соответствующих физических величин [6].

Совокупность основных и производных единиц, относящихся к некоторой системе величин и образованная в соответствии с принятыми принципами – система единиц физических величин.

Основные физические величины приняты Международной системой единиц СИ. В которую входят семь основных (метр, килограмм, секунда, ампер, кельвин, моль, кандела) и две дополнительных (радиан и стерадиан) единиц (Приложение 1).

Для удобства применения единиц физических величин СИ приняты приставки для образования десятичных кратных и дольных (меньших) единиц, множители и приставки которых приведены в Приложении 2 [6].

## 2. МЕХАНИКА

*Механика* – это раздел физики, изучающий закономерности механического движения и причины, вызывающие это движение.

Механика подразделяется на три раздела:

– кинематика (изучает движение тел, не рассматривая причины этого движения);

– динамика (изучает законы движения тел, которые вызывают это движение);

– статика (изучает законы равновесия системы тел).

Основная задача механики – определить положение тела в любой момент времени.

### 2.1. КИНЕМАТИКА

*Кинематика* – раздел механики, изучающий способы описания движения и связь между величинами, которые его (движение) характеризуют.

#### 1.1.1. Механическое движение. Характеристики механического движения

*Механическим движением* называют изменение положения тела в пространстве относительно других тел с течением времени.

При изучении движения материальных тел, в частности при решении задач, в механике используют понятия материальной точка и абсолютно твердого тела.

*Материальная точка* – это тело, размерами которого в данной задаче можно пренебречь (ракета в космическом пространстве).

*Абсолютно твердое тело* – это система материальных точек, расстояние между которыми с течением времени не изменяется.

Движение любого твердого тела можно представить как комбинацию поступательного и вращательного движений.

*Поступательное движение* – это движение тела, при котором все его точки движутся одинаково любая прямая, жёстко связанная с телом, остается параллельной своему первоначальному положению.

*Вращательное движение* – это движение, при котором все точки тела движутся по окружностям в плоскостях, перпендикулярных оси вращения.

Для описания движения необходимо выбрать систему отсчета.

Систему отсчета образуют:

- 1) *тело отчёта* – это тело, в отношении которого рассматривается данное механическое движение;
- 2) система координат (прямоугольная или декартова);
- 3) прибор для измерения времени (часы).

*Материальная точка* – это тело, размерами которого можно пренебречь.

Положение материальной точки в пространстве в любой момент времени можно определить с помощью зависимости:

- 1) координат от времени – координатный способ;
- 2) радиус-вектора от времени – векторный способ.

*Координатный способ* – задание положения точки с помощью координат.

- 1) Если материальная точка находится на прямой ОХ, то она определяется одной координатой  $x$ .

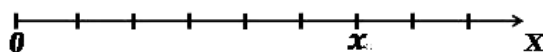


Рис. 1.1

- 2) Если материальная точка находится на плоскости, то она определяется двумя координатами  $M(x, y)$ .

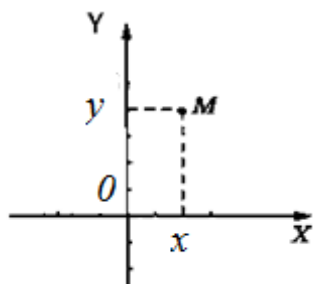


Рис. 1.2

- 3) Если материальная точка находится в пространстве, то она определяется тремя координатами  $M(x, y, z)$ .

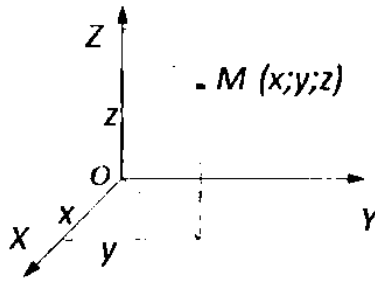


Рис. 1.3

Координаты точки можно представить в виде:

$$x = x(t), y = y(t), z = z(t) \quad (1.1)$$

*Векторный способ* – это задание положения точки с помощью радиус-вектора. *Радиус – вектор*  $\overrightarrow{OM}$  – это вектор, проведенный из начала системы координат в данную точку.

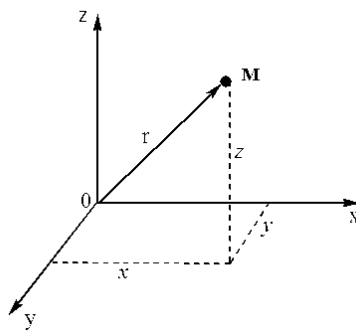


Рис. 1.4

$$\vec{r} = \vec{r}(t) \quad (1.2)$$

Уравнения (1.1) и (1.2) называются *кинематическими уравнениями движения точки*.

Линия, по которой точка движется в пространстве, называется *траекторией*.

В зависимости от формы траектории движение бывает *прямолинейным* либо *криволинейным*.

*Путь (S)* – это длина траектории, которая описывает материальную точку за данный промежуток времени.

Перемещение ( $\vec{\Delta r}$ ) – это направленный отрезок прямой, соединяющий начальное положение тела с конечным;  $\Delta \vec{r} = \vec{r}_2 - \vec{r}_1$  и  $S \geq |\Delta \vec{r}|$ .

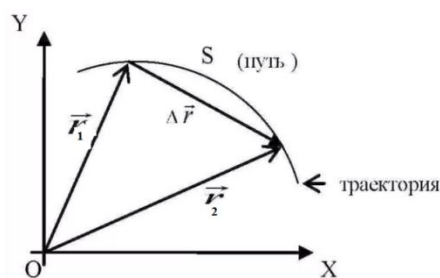


Рис. 1.5

### 1.1.2. Скорость. Равномерное прямолинейное движение

Одной из основных величин, характеризующей движение, является его скорость.

*Скорость* – это векторная физическая величина, равная отношению перемещения  $\Delta \vec{r}$  к промежутку времени  $t$ , в течение которого это перемещение произошло:

$$\vec{v} = \frac{(\Delta \vec{r})}{t}, [v] = 1 \text{ м/с} \quad (1.3)$$

Модуль скорости равномерного прямолинейного движения равен отношению пути  $S$  ко времени  $t$ , за которое этот путь пройден:

$$v = \frac{S}{t} \quad (1.4)$$

Уравнение равномерного движения примет вид:

$$\vec{r} = \vec{v} \cdot t$$

$$S = v \cdot t$$

Учитывая, что  $S = x - x_0$ , можно записать уравнение равномерного прямолинейного движения точки в любой момент времени:

$$x = x_0 + v_x \cdot t \quad (1.5)$$

Скорость тела в данный момент времени или в данной точке траектории это мгновенная скорость (совпадает с направлением движения)

*Мгновенная скорость* – это векторная физическая величина, равная пределу отношения перемещения  $\Delta \vec{r}$  к промежутку времени  $\Delta t \rightarrow 0$ , в течение которого это перемещение произошло:

$$\vec{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} \quad (1.6)$$

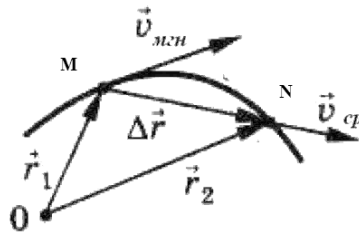


Рис. 1.6

Мгновенная скорость всегда направлена по касательной к траектории.

Для описания движения по замкнутой траектории или по траектории, некоторые участки которой пересекаются, используют понятие *средней скорости*:

$$v_{cp1} = \frac{\Delta \vec{r}_1}{\Delta t_1} \quad (1.7)$$

При этом необходимо учитывать, что конечная скорость на одном участке пути является начальной скоростью на соседнем участке.

Скорости можно складывать геометрически, как и другие векторные физические величины.

*Закон сложения скоростей*: если тело движется относительно некоторой системы  $S_1$  со скоростью  $v_1$  и сама эта система отсчета движется относительно другой системы отсчета  $S_2$  со скоростью  $v$ , то скорость тела относительно второй системы отсчета равна геометрической сумме этих скоростей:

$$\vec{v}_2 = \vec{v}_1 + \vec{v} \quad (1.8)$$

*Равномерное прямолинейное движение* – это движение, при котором материальная точка за любые равные промежутки времени проходит одинаковые расстояния; траекторией движения является прямая линия; скорость постоянная.

Уравнение определения координат в любой момент времени (кинематические уравнения) при равномерном движении:

$$\begin{aligned} x &= x_0 + v_x \cdot t \\ y &= y_0 + v_y \cdot t \end{aligned} \quad (1.9)$$



Графики зависимости  $v(t)$ ,  $x(t)$  и  $S(t)$  представлены на рис.

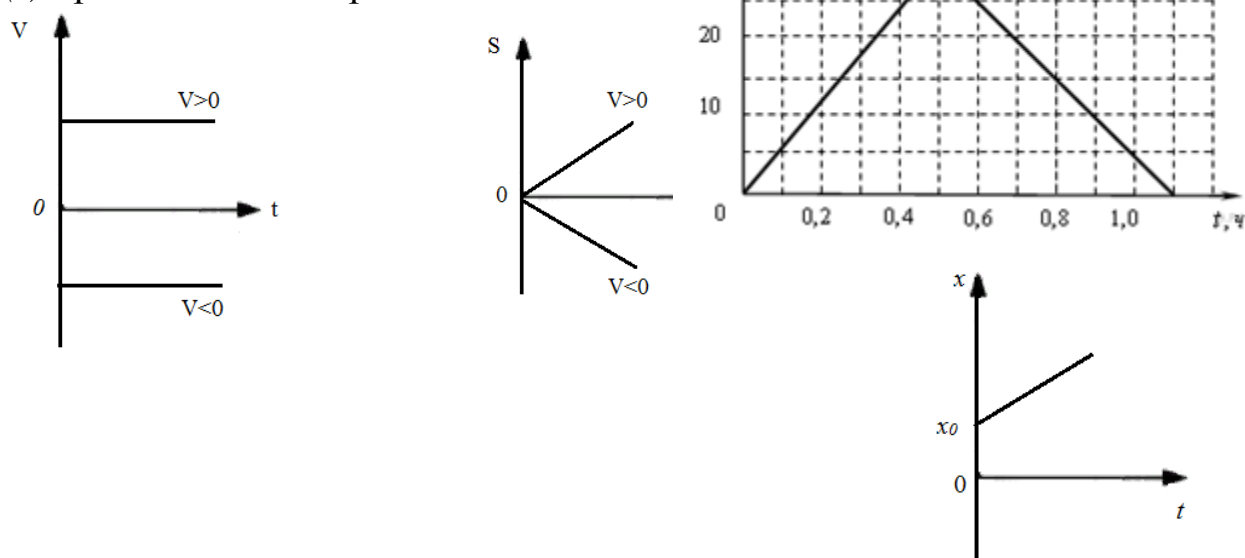


Рис. 1.7

**Задача:** На графике представлено движение автомобиля из города X в Y и обратно.

Город X находится в начале координат, город Y – в точке  $x=30$  км. Чему равна максимальная скорость автомобиля на всем пути следования XY и обратно YX? (Ответ дайте в км/ч)

**Решение:** Для нахождения скорости движения тела в некоторый момент, вычислим тангенс угла наклона графика в соответствующей точке (т.к. тангенс угла наклона графика – есть значение производной перемещения в точке касания, а это и есть скорость). Максимальной скорости соответствует максимальный угол наклона. По графику видно, что с максимальной скоростью автобус движется из города X в город Y, скорость его при этом равна:

$$v = \frac{x(0,5) - x(0)}{0,5} = \frac{30 - 0}{0,5} = 60 \text{ км/ч}$$

Ответ: 60 км/ч.

### 1.1.3. Ускорение. Равноускоренное прямолинейное движение

Физическую величину, которая характеризует быстроту изменения скорости по модулю и направлению, называют ускорением.

Ускорение – это векторная физическая величина, равная отношению изменения скорости  $\Delta\vec{v} = \vec{v} - \vec{v}_0$  к промежутку времени  $t$ , в течение которого это изменение произошло:

$$\vec{a} = \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{t}, \quad [a] = 1\text{м/с}^2 \quad (1.10)$$

Формула определения скорости в любой момент времени имеет вид:

$$\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a}t \quad (1.11)$$

Проекция скорости при равноускоренном движении:

$$v_x = v_{0x} + a_x t$$

$$v_y = v_{0y} + a_y t \quad (1.12)$$

*Равноускоренное прямолинейное движение* – движение тела, при котором его скорость за любые равные промежутки времени изменяется одинаково; ускорение постоянное. При  $a > 0$  тело разгоняется (движение равноускоренное), при  $a < 0$  тело тормозит (движение равнозамедленное).

Уравнение определения координат в любой момент времени (кинематические уравнения) при равноускоренном движении:

$$x = x_0 + v_{0x} \cdot t + \frac{a_x t^2}{2} \quad (1.13)$$

$$y = y_0 + v_{0y} \cdot t + \frac{a_y t^2}{2}$$

Графики зависимости  $a(t)$ ,  $v(t)$ ,  $x_0(t)$  и  $S(t)$  представлены на рис.1.18

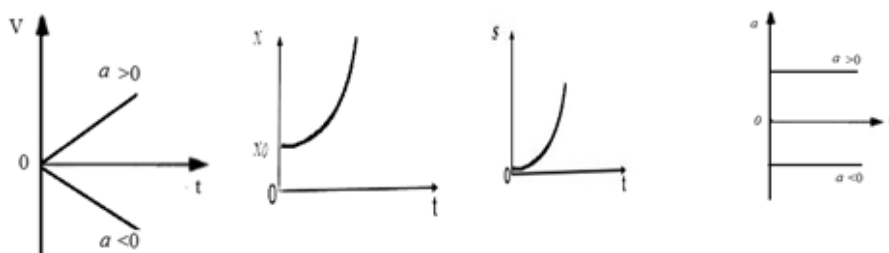


Рис. 1.8

**Задача:** Зависимость координаты  $x$  тела от времени  $t$  имеет вид:

$$x = -2 \cdot t^2 + 4 \cdot t + 2$$

Чему равна проекция скорости тела на ось  $Ox$  в момент времени  $t=10$  с при таком движении (м/с)?

Решение: Зависимость координаты тела  $x$  от времени при равноускоренном движении:

$$x = x_0 + v_{0x} \cdot t + \frac{a_x t^2}{2}$$

Из условия имеем, что проекция на ось  $Ox$  начальной скорости  $v_{0x} = 4$  м/с, проекция ускорения  $a_x = -4 \frac{м}{с^2}$ . Проекция скорости тела на

ось  $Ox$  в момент времени  $t=10$  с:

$$v_x = v_{0x} + a_x t = 4 - 4 \cdot 10 = -36 \text{ м/с}$$

Ответ: -36 м/с.

#### 1.1.4. Свободное падение тел.

##### Движение тела, брошенного под углом к горизонту

*Свободным падением* называют движение тела под действием притяжения его к Земле.

*Ускорение свободного падения* – это ускорение, с которым все тела падают на Землю. Ускорение свободного падения всегда направленным вертикально вниз и равно  $\vec{g} = 9,8 \text{ м/с}^2$ .

Формулы (11) - (13) примут вид:

$$v = v_0 + gt$$

(1.14)

$$h = v_0 \cdot t + \frac{gt^2}{2} \text{ при } v_0 = 0 \quad h = \frac{gt^2}{2}$$

На рисунке 1.9 представлена траектория движения тела, брошенного под углом  $\alpha$  к горизонту.

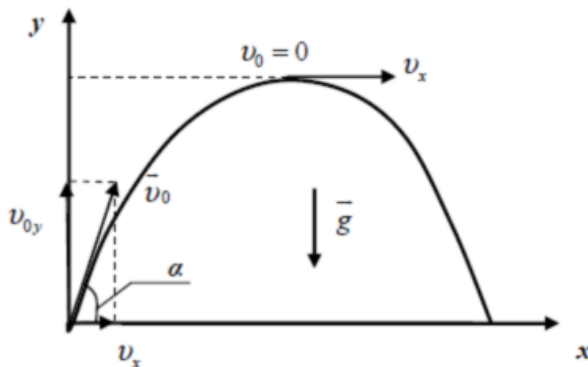


Рис. 1.9

Это движение будет представлено как результат сложения двух движений – равномерного вдоль оси X и равнопеременного по оси Y с ускорением  $g$ .

$$v_x = v_0 \cos \alpha, \quad v_y = v_{0y} - gt, \quad \text{где } v_{0y} = v_0 \sin \alpha \quad (1.15)$$

Траектория движения:

$$y = y_0 + v_{0y} \cdot t - \frac{gt^2}{2} \quad (1.16)$$

Время подъема:

$$t_{\text{под}} = \frac{v_0 \sin \alpha}{g} \quad (1.17)$$

Наибольшая высота подъема (определяется координатой  $y$ ):

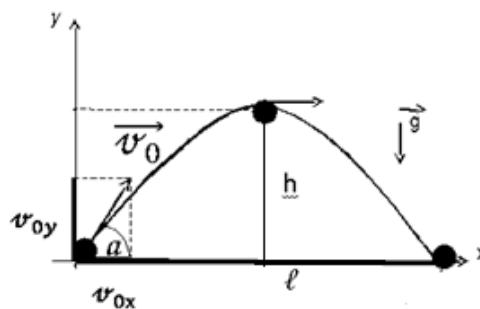
$$h_{\text{max}} = y_{\text{max}} = \frac{v_0^2}{2g} (\sin \alpha)^2 \quad (1.18)$$

Дальность полета (определяется координатой  $x$ ):

$$s_{\text{max}} = \frac{v_0^2}{g} \sin 2\alpha \quad (1.19)$$

Задача: Снаряд вылетает из орудия с начальной скоростью 500 м/с под углом  $30^\circ$  к горизонту. Найти высоту, дальность и время полета снаряда, вращением и сопротивлением воздуха пренебречь.

Решение:



Составляющие скорости по осям Oх и Oу в начальный момент времени равны:

$v_{0x} = v_x \cdot \cos \alpha$  – постоянна во все время движения (полета) снаряда.

Согласно (15):  $v_{0y} = v_0 \cdot \sin \alpha$ , а  $v_y = v_0 \cdot \sin \alpha - g \cdot t$

$v_y = v_0 \cdot \sin \alpha - g \cdot t_1 = 0$  в максимальной (наивысшей) точке подъ-

ема снаряда, следовательно:  $t_1 = \frac{v_0 \cdot \sin \alpha}{g}$ .

$$t=2 \cdot t_1 = \frac{2 \cdot v_0 \cdot \sin \alpha}{g} = \frac{2 \cdot 500 \cdot 0.5}{9.8} \approx 51 \text{ с} - \text{ время полета снаряда.}$$

Согласно (1.18) наибольшая высота подъема:

$$h = \frac{500^2 \cdot 0.5^2}{2 \cdot 9.8} = 3188,8 \text{ м.}$$

Дальность полета определим из (1.19):

$$S = \frac{500^2 \cdot \sin 60^\circ}{9.8} = 22092,5 \text{ м.}$$

Ответ: 3188,8 м, 22092,5 м, 51 с.

### 1.1.5. Равномерное движение по окружности

Равномерное движение по окружности – это движение материальной точки, при котором тело за равные промежутки времени проходит равные по длине дуги окружности.

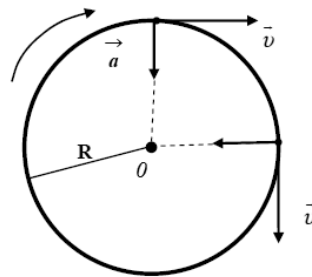


Рис. 1.10

Вектор скорости направлен по касательной к окружности; ускорение будет направлено к центру.

Равномерное движение по окружности характеризуется: центростремительным (нормальным) ускорением, угловой и линейной скоростями, частотой и периодом вращения.

*Центростремительное ускорение* – это ускорения, с которым материальная точка движется по окружности и направлено перпендикулярно скорости по радиусу к ее центру:

$$a = \frac{v^2}{R} \quad (1.20)$$

Быстрота вращения тела характеризуется угловой скоростью.

*Угловая скорость* – это физическая величина, равная отношению угла поворота тела  $\Delta\varphi$  к промежутку времени  $\Delta t$ , в течение которого этот поворот произошел:

$$\omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t}, \quad [\omega] = 1\text{рад/с} \quad (1.21)$$

*Период вращения* – физическая величина, равная времени одного полного оборота по окружности  $t$  к числу полных оборотов  $N$ :

$$T = \frac{t}{N}, \quad [T] = 1\text{с} \quad (1.22)$$

*Частота вращения* – физическая величина, показывающая число полных оборотов по окружности за 1с:

$$\nu = \frac{N}{t}, \quad [\nu] = \text{с}^{-1} \quad (1.23)$$

Из (22) и (23) следует, что

$$T = \frac{1}{\nu} \quad (1.24)$$

Так как полному обороту тела соответствует угол  $\Delta\varphi = 2\pi$ , то

$$\omega = \frac{2\pi}{t} = 2\pi\nu, \quad \nu = \frac{2\pi R}{T} = 2\pi\nu R \quad (1.25)$$

*Связь между линейной и угловой скоростями:*

$$v = \omega R \quad (1.26)$$

*Связь между ускорением, радиусом окружности и угловой скоростью:*

$$a = \frac{v^2}{R} = \omega^2 R = \nu\omega \quad (1.27)$$

**Задача:** Материальные точки движутся по окружностям радиусами 0,3 м и 0,4 м с одинаковыми периодами обращения  $T=2$  с. Определить разность их центростремительных ускорений.

Решение: Согласно (1.27) и (1.25)  $a = \frac{v^2}{R} = \omega^2 R = \nu\omega$

и  $\omega = \frac{2\pi}{t} = 2\pi\nu$ ,  $\nu = \frac{2\pi R}{T} = 2\pi\nu R$ , тогда  $a_1 = \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 \cdot R = \left(\frac{2\pi}{2}\right)^2 \cdot 0,3 = 2,96$

м/с<sup>2</sup>,  $a_2 = \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 \cdot R = \left(\frac{2\pi}{2}\right)^2 \cdot 0,4 = 3,94$  м/с<sup>2</sup>

$a_2 - a_1 = 3,94 - 2,96 = 0,98$  м/с<sup>2</sup>.

Ответ: 0,98 м/с<sup>2</sup>.

## **2.2. ДИНАМИКА. ЗАКОНЫ МЕХАНИКИ НЬЮТОНА**

*Динамика* – раздел механики, в котором рассматриваются взаимодействия тел, являющиеся причиной изменения движения этих тел, т.е. изменения их скоростей.

Динамику называют механикой Ньютона.

В основе динамики лежат три закона Ньютона, которым подчиняются движения всех окружающих нас тел.

*Основное утверждение механики Ньютона* выражает принцип причинности в механике: изменение скорости тела (т.е. ускорение) всегда вызывается воздействием на него каких либо других тел.

Если действий со стороны других тел на данное тело нет, то согласно основному утверждению механики ускорение тела равно нулю, т.е. тело будет покоиться или двигаться с постоянной скоростью.

### **2.2.1. Инерциальные и неинерциальные системы отчета**

*Инерциальная система отсчета (ИСО)* – это система отсчета, относительно которой материальная точка, свободная от внешних воздействий, либо покоится, либо движется равномерно и прямолинейно называется

*Неинерциальная система отсчёта* – система, движущаяся относительно инерциальной с ускорением.

В неинерциальных системах отсчета основное утверждение механики не выполняется.

### **2.2.2. Первый закон Ньютона (закон инерции)**

Свойство тел сохранять свою скорость при отсутствии действия на него других тел называется *инерцией*. Поэтому первый закон Ньютона называют законом инерции. Впервые закон инерции был сформулирован Г. Галилеем (1632 г.). Ньютон обобщил выводы Галилея и включил их в число основных законов движения.

I закон Ньютона выполняется в ИСО (тело движется без ускорения): *существуют системы отсчета, называемые инерциальными, относительно которых тело находится в покое или движется равномерно и прямолинейно, если на него не действуют другие тела или действие этих тел скомпенсировано.*

Или короче: Если на данное тело не действуют другие тела или действия других тел уравновешены, то это тело либо покоится, либо движется равномерно прямолинейно.

### 2.2.3. Масса. Сила. Второй закон Ньютона

Причиной изменения скорости движения тела в инерциальной системе отсчета всегда является его взаимодействие с другими телами. Для количественного описания движения тела под воздействием других тел необходимо ввести две новые физические величины – инертную массу тела и силу.

*Масса* – это свойство тела, характеризующее его инертности, следовательно, масса – мера инертности; скалярная величина;  $[m] = 1\text{кг}$ .

В физике принято считать, что массы взаимодействующих тел обратно пропорциональны ускорениям

$$\frac{m_1}{m_2} = - \frac{a_1}{a_2} \quad (2.1)$$

В соотношении (2.1) величины  $a_1$  и  $a_2$  следует рассматривать как проекции векторов  $\vec{a}_1$  и  $\vec{a}_2$  на ось OX (рис. 1. Знак «минус» в правой части формулы означает, что ускорения взаимодействующих тел направлены в противоположные стороны.

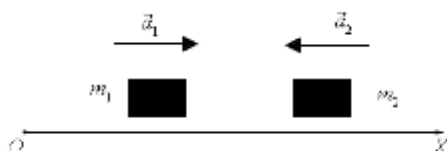


Рис. 2.1

Массу можно определить взвешиванием или по II закону Ньютона.

Так как масса обладает свойством аддитивности, следовательно, если два тела с массами  $m_1$  и  $m_2$  соединить в одно, то масса  $m$  тела окажется равной сумме масс этих тел:  $m = m_1 + m_2$ .

Чтобы описывать воздействия, упоминаемые в первом законе Ньютона, вводится понятие силы.

*Сила* – векторная физическая величина, являющаяся мерой механического воздействия на тело со стороны других тел или полей в результате которого тело приобретает ускорение или изменяет свою форму и размеры:  $[F]=1\text{Н}$ .



Для измерения сил используют откалиброванные пружины, которые называются *динамометрами*. Сила измеряется по растяжению динамометра.

Две силы считаются равными и противоположно направлены, если их одновременное действие на тело не меняет его скорости.



Рис. 2.2

Векторная сумма всех сил, действующих на тело, называется *равнодействующей (резльтирующей) силой*. Справедлив *принципом суперпозиции* (наложения) сил:

$$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n \quad (2.2)$$

**II закон Ньютона: Ускорение тела прямо пропорционально силе, действующей на него, и обратно пропорционально его массе:**

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m} \quad (2.3)$$

Для решения задач пользуются другой формулировкой второго закона Ньютона: *Произведение массы тела на ускорение равно сумме действующих на тело сил:*

$$m\vec{a} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots \quad (2.4)$$

Второй закон Ньютона справедлив в тех случаях, когда сила действует на тело, которое уже находится в движении – равномерном или любом другом. Если  $\vec{F} = 0$  и  $\vec{a} = 0$ , то тело покоится, либо движется равномерно прямолинейно.

#### 2.2.4. Третий закон Ньютона

В механике справедливо свойство сил: любое действие тел друг на друга носит характер взаимодействия, при этом материальные точки или тела являются равноправными. Равноправие взаимодействующих материальных точек (тел) отражает третий закон Ньютона.

**III закон Ньютона: Силы, с которыми тела действуют друг на друга на одной прямой, равны по модулю и противоположны по направлению**

$$\vec{F}_1 = -\vec{F}_2 \quad (2.5)$$

**Задача:** Груз массой 50 кг поднимают вертикально вверх с помощью троса. На рисунке приведена зависимость проекции скорости  $V$  груза на ось от времени  $t$ . Определить модуль силы натяжения троса в течение подъёма.

Решение: Скорость груза линейно меняется (по графику), значит, он движется с ускорением  $a = \frac{v-v_0}{t} = \frac{8-2}{3} = 2 \text{ м/с}^2$

По второму закону Ньютона:  $m \cdot a = T - m \cdot g$  откуда

$$T = m \cdot a + m \cdot g = m \cdot (a + g) = 50 \cdot (2 + 9,8) = 590 \text{ Н.}$$

Ответ: 590.

### 2.2.5. Силы в механике. Сила тяжести. Вес. Невесомость.

#### Закон всемирного тяготения

В механике изучаются гравитационные силы – силы тяготения и две разновидности электромагнитных сил – силы упругости и силы трения.

*Сила тяжести* – это сила, с которой Земля притягивает тело, находящееся на ее поверхности или вблизи этой поверхности.

*Весом тела* – это сила, с которой тело, вследствие его притяжения к Земле, действует на опору (горизонтальную) или подвес (растягивает его).

На тело, лежащее на неподвижном относительно Земли горизонтальном столе (рис. 2.3) действуют:

- 1) сила тяжести  $\vec{F}_T = m \cdot \vec{g}$ , направленная вертикально вниз,
- 2) сила упругости  $\vec{N}$ , с которой опора действует на тело.

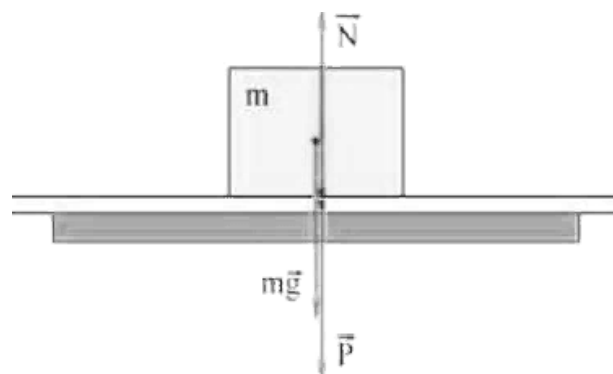
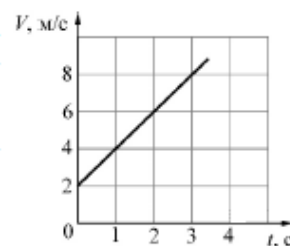


Рис. 2.3

Система отсчета, связанная с Землей, инерциальная.



Силу  $\vec{N}$  называют силой нормального давления или *силой реакции опоры*. Силы, действующие на тело, уравниваются друг друга:

$$\vec{F}_T = -\vec{N} \quad (2.6)$$

В соответствии с третьим законом Ньютона тело действует на опору с некоторой силой  $\vec{P}$ , равной по модулю силе реакции опоры и направленной в противоположную сторону:  $\vec{P} = -\vec{N}$ .

По определению сила  $\vec{P}$  и называется *весом тела*.

Из приведенных выше соотношений следует, что  $\vec{P} = \vec{F}_T = m \cdot \vec{g}$ , то есть вес тела  $\vec{P}$  равен силе тяжести  $m \cdot \vec{g}$ . Эти силы приложены к разным телам (рис. 2.4).

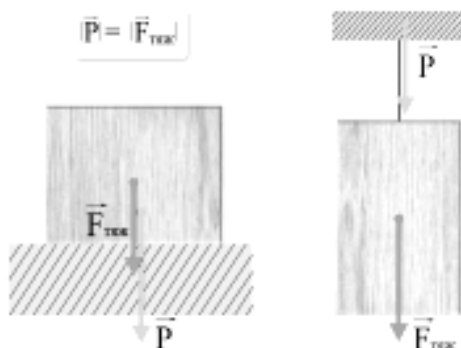


Рис. 2.4

Кроме того, сила тяжести – гравитационная сила или сила называют силы всемирного тяготения. Она приблизительно равна силе гравитационного притяжения тела к Земле:

$$F = G \frac{mM}{R^2} \quad (2.7)$$

где  $m$  – масса тела,  $M$  – масса Земли,  $R$  – радиус Земли,  $G$  – гравитационная постоянная, вес тела – сила упругости.

Силой всемирного тяготения Ньютон назвал силу взаимного притяжения, действующую между Солнцем, планетами и другими телами во Вселенной.

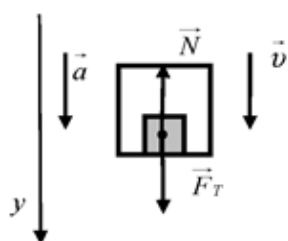
Формулировка закона всемирного тяготения: **Сила взаимного притяжения двух тел прямо пропорциональна произведению масс этих тел и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними:**

$$F = G \frac{m_1 m_2}{R^2} \quad (2.8)$$

Коэффициент пропорциональности  $G$  называется **гравитационной постоянной**, которая численно равна силе притяжения между двумя материальными точками массой 1 кг каждая, если расстояние между ними равно 1 м;  $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{кг}^2$ .

Рассмотрим частные случаи.

1) Вес тела, опускающегося с ускорением.



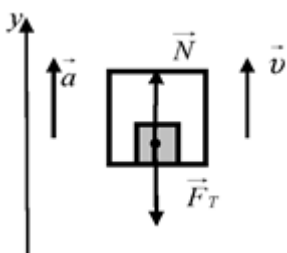
$$\begin{aligned} \vec{F} &= m \cdot \vec{a} \\ \vec{N} + m \cdot \vec{g} &= m \cdot \vec{a} \\ -N + m \cdot g &= m \cdot a \\ N &= m \cdot (g - a) \end{aligned}$$

По 3-ему закону Ньютона

$$\begin{aligned} |P| &= |N| \Rightarrow \\ P &= m \cdot (g - a) \end{aligned}$$

Рис. 2.5

2) Вес тела, поднимающегося с ускорением.



$$\begin{aligned} \vec{F} &= m \cdot \vec{a} \\ \vec{N} + m \cdot \vec{g} &= m \cdot \vec{a} \\ N &= m \cdot a + m \cdot g \\ N &= m \cdot (g + a) \end{aligned}$$

По 3-ему закону Ньютона

$$\begin{aligned} |P| &= |N| \Rightarrow \\ P &= m \cdot (g + a) \end{aligned}$$

Рис. 2.6

3) Тело покоится или движется равномерно и прямолинейно вверх или вниз:  $P = m \cdot g$ .

4) Тело свободно падает:  $a = g$  и  $P = 0$ .

*Невесомость* – исчезновение веса при движении опоры с ускорением свободного падения.

Состояние невесомости означает, что тела не давят на опору, и, следовательно, на них не действует сила реакции опоры, движутся они лишь под действием силы притяжения к Земле.

### ***Первая космическая скорость***

Минимальная скорость, которую надо сообщить телу на поверхности Земли, чтобы оно стало спутником Земли, движущимся по круговой орбите, называется *первой космической скоростью*.

Первую космическую скорость можно найти по формуле:

$$v = \sqrt{G \frac{M}{R}} \quad (2.9)$$

*Задача: Две планеты с одинаковыми массами обращаются по круговым орбитам вокруг звезды. Для первой из них сила притяжения к звезде в 2 раза меньше, чем для второй. Каково отношение радиусов орбит первой и второй планет?*

Решение: По закону всемирного тяготения сила притяжения планеты к звезде обратно пропорциональна квадрату радиуса орбиты. Т.к. массы планет равны, то отношение сил притяжения к звезде первой и второй планет обратно пропорционально отношению квадратов радиусов орбит:

$$\frac{F_1}{F_2} = \left(\frac{R_2}{R_1}\right)^2, F_1 = F_2/2, \text{ следовательно, } \frac{F_2}{2 \cdot F_2} = \left(\frac{R_2}{R_1}\right)^2$$

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{\sqrt{2}}{1} = \sqrt{2}$$

Ответ:  $\sqrt{2}$ .

### **2.2.6. Силы упругости. Закон Гука**

Силы упругости возникают при деформации тел и исчезают, когда она прекращается.

Под *деформацией* понимают изменение размера или формы тела.

*Сила упругости* – это сила, появляющаяся при деформации тела и направленная в сторону восстановления его прежних форм и размеров под прямым углом к деформируемой поверхности.

**Закон Гука: При упругой деформации растяжения (или сжатия) удлинение тела прямо пропорционально приложенной силе.**

$$F_{\text{упр}} = -kx \quad (2.10)$$

Коэффициент пропорциональности  $k$  называется *коэффициентом упругости* или *жесткости*, зависит от размеров тела, формы и материала;  $[k] = \frac{1\text{Н}}{\text{м}}$ ;  $x$  - удлинение пружины.

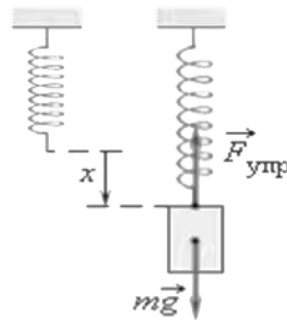


Рис. 2.7

**Задача:** Сжатое с боков пружинами тело, покоится на гладком горизонтальном столе. Первая пружина сжата на 0,05 м, а вторая сжата на 0,03 м. Жёсткость первой пружины  $k_1 = 500$  Н/м. Чему равна жёсткость второй пружины  $k_2$  (в Н/м)?

Решение: Так как тело покоится, то по второму закону Ньютона:  $F_{\text{упр}1} = F_{\text{упр}2}$ , т.е.  $k_1 \cdot \Delta x_1 = k_2 \cdot \Delta x_2$ , следовательно

$$k_2 = \frac{k_1 \cdot \Delta x_1}{\Delta x_2} = \frac{500 \cdot 0,05}{0,03} \approx 833 \text{ Н/м}$$

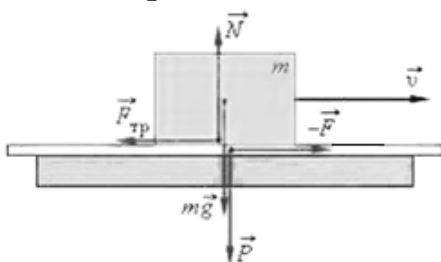
Ответ: 833 Н/м.

### 2.2.7. Силы трения

*Сила трения* – сила, возникающая при движении или попытке вызвать движение одного тела по поверхности другого и направленная вдоль соприкасающихся поверхностей против движения.

Существуют три вида сил трения: сила трения покоя; сила трения скольжения; сила трения качения.

При решении задач чаще всего сталкиваются с трением скольжения, возникающим при относительном перемещении соприкасающихся тел.

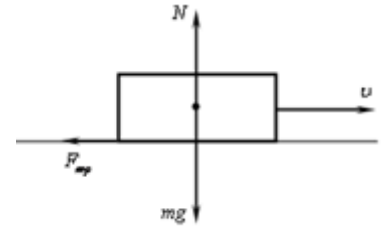


$$\vec{F}_{\text{тр}} = -\vec{F}$$

$$\vec{N} = m\vec{g}$$

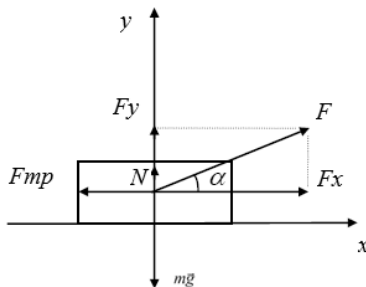
Рис. 2.8

Возникающая при этом сила трения скольжения всегда направлена в сторону, противоположную относительной скорости движения соприкасающихся тел, и зависит от силы нормального давления  $N$ :



$$F_{\text{тр}} = \mu \cdot N \quad (2.11)$$

Коэффициент пропорциональности  $\mu$  называют *коэффициентом трения скольжения*. Коэффициент трения  $\mu$  – величина безразмерная, как правило,  $\mu < 1$ .



$$\begin{aligned} \mathbf{F} + \mathbf{mg} + \mathbf{N} + \mathbf{F}_{\text{тр}} &= \mathbf{ma} \\ \text{OX: } ma &= F \cos \alpha - F_{\text{тр}}, \text{ где } F_{\text{тр}} = \mu N \\ \text{OY: } 0 &= N + F \sin \alpha - mg \\ N &= mg - F \sin \alpha \\ F_{\text{тр}} &= \mu (mg - F \sin \alpha) \end{aligned}$$

Рис. 2.9

**Задача:** На брусок массой  $m$ , движущийся по горизонтальной поверхности, действует сила трения скольжения  $10 \text{ Н}$ . Чему равна сила трения скольжения, если коэффициент трения уменьшится в 2 раза при неизменной массе?

Решение:

Сила трения скольжения связана с коэффициентом трения и силой реакции опоры соотношением (2.11)  $F_{\text{тр}} = \mu \cdot N$ . Для бруска, движущегося по горизонтальной поверхности, по второму закону Ньютона:  $N=mg$ .

Таким образом, сила трения скольжения пропорциональна произведению коэффициента трения и массы бруска. Если масса бруска не изменится, то после уменьшения коэффициента трения в 2 раза, сила трения скольжения также уменьшится в 2 раза и окажется равной  $10/2=5 \text{ Н}$ .

Ответ: 5 Н.

## 2.3. ЗАКОНЫ СОХРАНЕНИЯ В МЕХАНИКЕ

### 2.3.1. Импульс. Закон сохранения импульса

Система тел, на которую не действуют внешние силы, называется *изолированной системой*. В такой системе, имеются сохраняющиеся вели-

чины (импульс, механическая энергия и момент импульса), которые при движении тел не изменяются со временем, но зависят от координат и скоростей всех тел системы. Эти величины подчиняются соответствующим законам сохранения: законы сохранения энергии, импульса и момента импульса.

*Импульс тела* (материальной точки) – это векторная величина, равная произведению массы ( $m > 0$ ) тела на его скорость:

$$\vec{p} = m\vec{v}; \quad [p] = 1 \text{ кг} \cdot \text{м/с} \quad (2.12)$$

Вектор импульса совпадает с направлением вектора скорости.

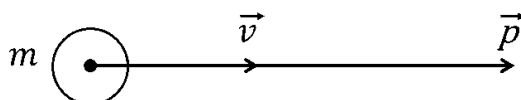


Рис. 2.10

Изменение импульса тела (материальной точки) пропорционально приложенной к нему силе и имеет такое же направление, как и сила:

$$\Delta\vec{p} = \vec{F}\Delta t; \quad \text{где } \Delta\vec{p} = m\vec{v}_2 - m\vec{v}_1 \quad (2.13)$$

*Импульс силы* – произведение силы на время ее действия.

Следовательно, второй закон Ньютона будет сформулирован следующим образом: *изменение импульса тела равно импульсу действующей на него силы.*

*Внешние силы* – это силы воздействия на тела данной системы со стороны тел, которые не входят в эту систему. Если система замкнута, то сумма внешних сил равна нулю.

Закон сохранения импульса является следствием законов Ньютона.

**Закон сохранения импульса: если сумма внешних сил равна нулю, то импульс системы тел сохраняется.** Т.е. полный импульс (суммарное значение импульса) замкнутой системы материальных точек не изменяется с течением времени:

$$\vec{p}_{\text{сист}} = m\vec{v}_2 + m\vec{v}_1 = \text{const} \quad (2.14)$$

Или: в замкнутой системе векторная сумма импульсов тел до взаимодействия равна векторной сумме импульсов тел после взаимодействия:

$$m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2 = m_1\vec{v}'_2 + m_2\vec{v}'_1 \quad (2.15)$$



Закон сохранения импульса объясняет следующие явления: реактивного движение, отдача при выстреле, движение лодки с помощью весел и т.д.

*Реактивное движение* – это движение тела (ракеты), которое возникает в результате выброса им вещества.

**Задача:** Стрелок массой 100 кг, стоящий на гладком льду, стреляет из ружья в горизонтальном направлении. Масса заряда 25 г. Скорость дробинок при выстреле 330 м/с. Какова скорость стрелка после выстрела?

**Решение:** Для стрелка с ружьем выполняется закон сохранения импульса, поскольку на эту систему не действует никаких внешних сил в горизонтальном направлении:

$$m_{\text{стр}} \cdot v_{\text{стр}} = m_{\text{др}} \cdot v_{\text{др}}, \text{ следовательно}$$

$$v_{\text{стр}} = \frac{m_{\text{др}}}{m_{\text{стр}}} \cdot v_{\text{др}} = \frac{0,25 \cdot 330}{100} = 0,825 \text{ м/с.}$$

Ответ: 0,825 м/с.

### 2.3.2. Работа силы. Мощность

Когда на тело в направлении его движения (или против него) действует сила со стороны другого тела, то говорят, что совершается работа.

*Работа*, совершаемая постоянной силой  $F$  – это скалярная физическая величина, равная произведению модулей силы и перемещения, умноженному на косинус угла  $\alpha$  между векторами силы  $\vec{F}$  и перемещения  $\vec{S}$ :

$$A = F \cdot S \cdot \cos \alpha; \quad [A] = 1 \text{ Дж} \quad (2.16)$$

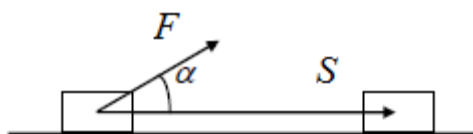


Рис. 2.11

Работа может быть положительна ( $0^\circ \leq \alpha < 90^\circ$ ) и отрицательна ( $90^\circ < \alpha \leq 180^\circ$ ). При  $\alpha = 90^\circ$  работа, совершаемая силой, равна нулю.

**Задача:** Брусок массой 1 кг под воздействием силы  $F$  перемещается вверх по наклонной плоскости на 10 м, расстояние тела от поверхности Земли становится 6 м. Вектор  $\vec{F}$  направлен параллельно наклонной плоскости, а ее модуль 50 Н. Какую работу при этом перемещении в системе

отсчета, связанной с наклонной плоскостью, совершила сила трения? Коэффициент трения принять  $\mu=0,6$ .

Решение: Сила трения зависит от силы реакции опоры и коэффициента трения следующим образом:  $F_{\text{тр}}=N\cdot\mu$ . Пусть  $\alpha$  – угол наклона плоскости,  $\cos \alpha = \frac{\sqrt{10^2-6^2}}{10} = \frac{8}{10} = 0,8$ , тогда по II закону Ньютона  $N = m \cdot g \cdot \cos \alpha$ . Сила трения совершила работу при подъеме тела вверх по наклонной плоскости

$$A_{\text{тр}} = \int_{F_{\text{тр}}} \vec{F}_{\text{тр}} \cdot d\vec{s} = -F_{\text{тр}} \cdot l = -N \cdot \mu \cdot l = -m \cdot g \cdot \cos \alpha \cdot \mu \cdot l =$$

$$= -1 \cdot 9,8 \cdot 0,8 \cdot 0,6 \cdot 10 = -47,04 \text{ Дж.}$$

Ответ:  $-47,04$  Дж.

Если тело переместить из точки, расположенной на высоте  $h_1$ , в точку, расположенную на высоте  $h_2$  от начала координатной оси  $oy$ , то сила  $F$  совершит работу, которую называют *работой силы тяжести*:

$$A_{\text{ТЯЖ}} = mg(h_1 - h_2) = mgh_1 - mgh_2 \quad (2.17)$$

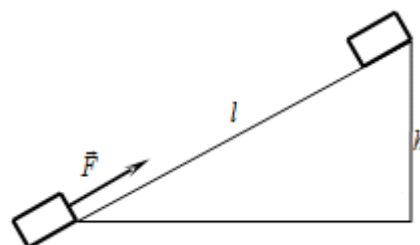
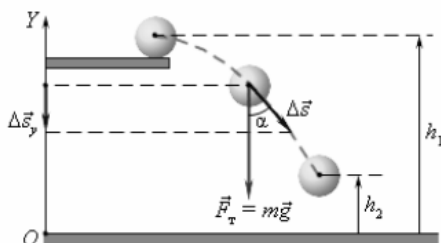


Рис. 2.12

Работа силы тяжести не зависит от формы траектории тела, определяется начальным и конечным положениями тела. При перемещении тела по замкнутой траектории работа силы тяжести равна нулю.

Растягивать (или сжимать) пружину различными способами. Можно удлинить пружину на величину  $x$ , или сначала удлинить её на  $2x$ , а затем уменьшить удлинение до значения  $x$  и т.д. В обоих случаях упругая сила совершает одну и ту же работу, которая зависит только от удлинения пружины  $x$  в конечном состоянии, если первоначально пружина была не деформирована. Эта работа равна работе внешней силы  $A$ , взятой с противоположным знаком, ее называют *работой силы упругости*:

$$A_{\text{упр}} = \frac{kx_2^2}{2} - \frac{kx_1^2}{2} \quad (2.18)$$

где  $k$  – жесткость пружины;  $x_1$  и  $x_2$  – начальное и конечное удлинение пружины.

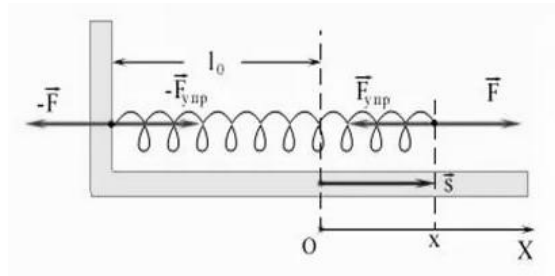


Рис. 2.13

Работа сил упругости зависит лишь от деформаций пружины в ее начальном и конечном состояниях, не зависит от формы траектории.

Для определения быстроты совершения работы используют понятие мощность.

*Мощность* – это скалярная физическая величина, равная отношению работы  $A$  к промежутку времени  $t$ , в течение которого эта работа совершена:

$$N = \frac{A}{t}; \quad [N] = 1 \text{ Вт} = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{с}} \quad (2.19)$$

При решении задач используют более крупные единицы мощности:

1 гВт (гектоватт) = 100 Вт,

1 кВт (киловатт) = 1000 Вт,

1 МВт (мегаватт) = 1 000 000 Вт.

Мощность, развиваемая силой, равна скалярному произведению вектора силы на вектор скорости, с которой движется точка приложения этой силы на  $\cos$  угла между ними:

$$N = F \cdot v \cos \alpha \quad (2.20)$$

Мощность можно повысить за счет увеличения действующих сил и за счет увеличения скорости движения.

### 2.3.3. Энергия. Закон сохранения энергии

Если тело или система тел совершает работу, то оно обладает энергией.

*Энергия* – скалярная физическая величина, характеризующая способность тела совершать работу. Единицы измерения энергии Джоуль.

В механике различают кинетическую и потенциальную энергии.

Энергия механического движения характеризуется кинетической энергией.

*Кинетическая энергия тела* – это физическая величина, равная половине произведения массы тела на квадрат его скорости:

$$E_k = \frac{mv^2}{2} \quad (2.21)$$

Кинетическая энергия всегда положительна; неодинакова в разных системах отсчёта; является функцией состояния системы.

**Теорема о кинетической энергии:** *изменение кинетической энергии тела (материальной точки) за некоторый промежуток времени равно работе, совершенной за то же время силой, действующей на тело:*

$$A = E_{k2} - E_{k1} = \Delta E_k \quad (2.22)$$

Если на тело действует несколько сил, то изменение его кинетической энергии равно сумме работ всех сил, действующих на тело.

**Задача:** *Изменение скорости тела массой 2 кг, движущегося по оси Oх описывается формулой*

$v_x = v_{0x} + a_x \cdot t$  где  $v_{0x} = 10$  м/с,  $a_x = -1$  м/с<sup>2</sup>,  $t$  – время в секундах.

*Какова кинетическая энергия тела через 2 с после начала отсчета времени?*

Решение: Согласно (2.21)  $E_k = \frac{mv^2}{2}$

$$v_x(2) = 10 - 1 \cdot 2 = 8 \text{ м/с, следовательно, } E_{\text{кин}} = \frac{2 \cdot 8^2}{2} = 64 \text{ Дж}$$

Ответ: 64 Дж.

Энергия взаимодействия характеризуется потенциальной энергией, зависящей от взаимного положения тел.

*Потенциальная энергия тела* – это физическая величина, равная произведению массы тела на ускорение свободного падения и на высоту  $h$  тела над поверхностью Земли:

$$E_{\text{п}} = mgh \quad (2.23)$$

Потенциальная энергия упруго деформированного тела – это величина, равную половине произведения коэффициента упругости тела на квадрат деформации:

$$E = \frac{kx^2}{2} \quad (2.24)$$

**Теорема о потенциальной энергии: изменение потенциальной энергии тела равно работе консервативной силы, взятой с противоположным знаком:**

$$A = E_{п1} - E_{п2} = -(E_{п2} - E_{п1}) = -\Delta E_{п} \quad (2.25)$$

**Задача:** Растянутая на 4 см металлическая пружина обладает потенциальной энергией упругой деформации 8 Дж. На сколько изменится потенциальная энергия упругой деформации при растяжении этой пружины еще на 4 см?

Решение: Потенциальная энергия упругой деформации пропорциональна квадрату удлинения пружины:

$$E(x) = \frac{k \cdot x^2}{2} = 8 \text{ Дж.}$$

$$E(2x) = \frac{k \cdot (2x)^2}{2} = 4 \cdot \frac{k \cdot x^2}{2} = 32 \text{ Дж}$$

$E(2x) - E(x) = 32 - 8 = 24$  Дж – на столько увеличится потенциальная энергия.

Ответ: увеличится на 24 Дж.

Приравняв формулы (2.22) и (2.25), получим, что изменение суммы кинетической и потенциальной энергий равно нулю.

**Полная механическая энергия системы** – это величина, равная сумме кинетической и потенциальной энергий системы:

$$E = E_{к} + E_{п} \quad (2.26)$$

**Закон сохранения полной механической энергии: полная механическая энергия изолированной системы тел, в которой действуют консервативные силы, сохраняется неизменной:**

$$E = E_{к} + E_{п} = \text{const} \quad (2.27)$$

Энергия не создается и не уничтожается, а только превращается из кинетической энергии в потенциальную и наоборот.

Учитывая формулы (2.21) и (2.23) закон сохранения механической энергии примет вид:

$$\frac{mv^2}{2} + mgh = \text{const} \quad (2.29)$$

или

$$\frac{mv_1^2}{2} + mgh_1 = \frac{mv_2^2}{2} + mgh_2 \quad (2.30)$$

**Задача:** Тело массой 500 г подбросили вертикально вверх, максимальная высота его подъема составила 10 м. Вычислите кинетическую энергию тела сразу же после броска.

Решение: По закону сохранения энергии, максимальная кинетическая энергия в начале броска будет равна потенциальной энергии в наивысшей точке полета:

$$E_{\text{кин.нач}} = E_{\text{пот.выс}}, \text{ т.е. } E_{\text{кин.}} = mgh = 0,5 \cdot 9,8 \cdot 10 = 49 \text{ Дж}$$

Ответ: 49 Дж.

## 2.4. СТАТИКА

### 2.4.1. Условия равновесия тел

Равновесие тела определяется всеми действующими на это тело силами: внешними и внутренними.

*Внешние силы* – это силы, действующие на тело со стороны других тел. На рис.2.14 они обозначены  $\vec{F}_1, \vec{F}_2, \vec{F}_3$ . *Внутренние силы* – это силы, с которыми взаимодействуют элементы самого тела -  $\vec{F}_{1,2}$  и  $\vec{F}_{2,1}$  и т.д. Силы  $\vec{F}_1, \vec{F}_2, \vec{F}_3$  - не обозначенные на рисунке – это внутренние силы, действующие на элементы этого тела.

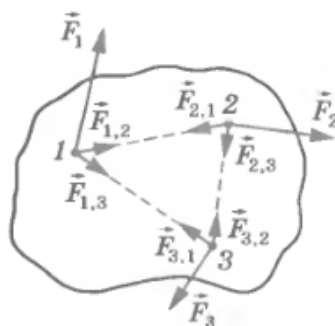


Рис. 2.14

Для равновесия тела необходимо и достаточно, чтобы геометрическая сумма всех сил (внешних и внутренних), действующих на каждый элемент этого тела, была равна нулю.

$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \dots = 0 \quad (2.31)$$

Формула (2.31) – *первое условие равновесия твердого тела: если твердое тело находится в равновесии, то геометрическая сумма внешних сил, приложенных к нему, равна нулю.*

Величину, способную вызывать и изменять вращение тела называют *моментом силы*. Выделяют момент силы относительно точки (центра) и относительно оси вращения.

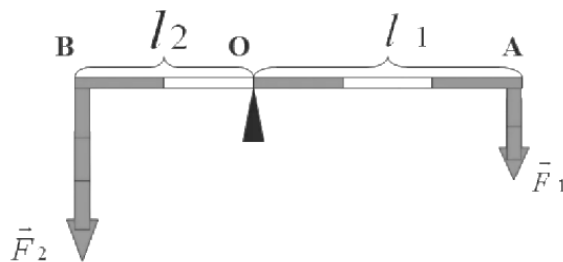


Рис. 2.15

На рис. 2.15 расстояния  $l_1$  и  $l_2$  – *плечо силы* – кратчайшее расстояние между точкой опоры  $O$  и прямой, вдоль которой действует сила на рычаг.

*Момент силы* относительно оси вращения тела – это физическая величина, равная произведение модуля силы на ее плечо:

$$M = F \cdot l; \quad [M] = 1 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (2.32)$$

Момент силы может быть положительным, если она стремится повернуть тело против часовой стрелки или отрицательным, если – по часовой.

Момент силы натяжения нити всегда равен нулю, так как плечо этой силы равно нулю.

На тело могут действовать моменты различных сил. Для равновесия тела (при наличии неподвижной оси вращения) необходимо, чтобы алгебраическая сумма моментов всех сил, действующих на тело, относительно этой оси была равна нулю.

$$M_1 + M_2 + \dots = 0 \quad (2.33)$$

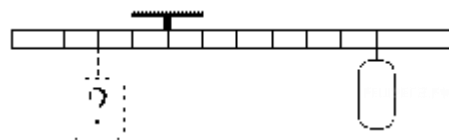
Формула (2.33) – *второе условие равновесия твердого тела: при равновесии твердого тела сумма моментов всех внешних сил, действующих на него относительно любой оси, равна нулю.*

Таким образом, если выполняются условия (2.31) и (2.33), то твердое тело находится в равновесии.

**Задача:** Тело массой 0,5 кг подвешено к правому плечу невесомого рычага. Какой массы груз надо подвесить ко второму делению левого плеча рычага для достижения равновесия?

Решение: Пусть одно деление рычага равно единице. По правилу рычага:  $m_1 \cdot l_1 = m_2 \cdot l_2$ , следовательно,

$$0,5 \cdot 6 = m_2 \cdot 2 \quad \text{и} \quad m_2 = \frac{0,5 \cdot 6}{2} = 1,5 \text{ кг.}$$



Ответ: 1,5 кг.

**Задача:** К горизонтальной лёгкой рейке, лежащей на двух опорах А и В, в точке О прикреплен груз массой 6 кг. Длина отрезка ОА равна 5 м, длина отрезка ОВ равна 3 м. Определите модуль силы, с которой действует на рейку опора В.



Решение: На рейку действуют сила реакции опоры в точке А и в точке В, а также сила тяжести груза. Уравнение моментов относительно точки А:  $m \cdot g \cdot OA = N_B \cdot AB$ , следовательно

$$N_B = \frac{m \cdot g \cdot OA}{AB} = \frac{6 \cdot 9,8 \cdot 5}{5+3} = 36,75 \text{ Н}$$

Ответ: 36,75 Н.



## Вопросы к разделу «Механика»

1. Механика. Виды движения.
2. Механическое движение. Траектория. Путь. Перемещение.
3. Скорость. Равномерное прямолинейное движение.
4. Ускорение. Равноускоренное прямолинейное движение.
5. Свободное падение. Движение тела, брошенного под углом к горизонту.
6. Равномерное движение по окружности.
7. Первый закон Ньютона.
8. Сила. Масса. Второй закон Ньютона.
9. Третий закон Ньютона.
10. Силы в механике.
11. Закон всемирного тяготения.
12. Сила тяжести. Вес тела. Невесомость.
13. Закон всемирного тяготения.
14. Силы упругости. Закон Гука.
15. Силы трения .
16. Импульс. Закон сохранения импульса.
17. Работа силы. Мощность.
18. Энергия. Кинетическая энергия.
19. Потенциальная энергия.
20. Закон сохранения механической энергии.
21. Момент силы. Условия равновесия тел.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дмитриева, В.Ф. Физика для профессий и специальностей технического профиля: учебник для студ. учреждений сред. проф. образования / В.Ф. Дмитриева. – Москва: Академия, 2017. – 448 с.
2. Мякишев, Г.Я. Физика: учебник для 10 класса общеобраз. учреждений: базовый и профильный уровни / Г.Я. Мякишев, Б.Б. Буховцев, Н.Н. Сотский. – Москва: Просвещение, 2008. – 366 с.
3. Никитенко, В.А. Конспект лекций по физике для довузовской подготовки / В.А. Никитенко, А.П. Прунцев. – Москва: МГУПС (МИИТ), 2014. – 163 с.
4. Полицинский, Е.В. Лекции по физике. Часть 1: учебное пособие / Е.В. Полицинский. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – 324 с.
5. Трофимова, Т.И. Справочник по физике для студентов и абитуриентов / Т.И. Трофимова. – Москва: ООО «Издательство Астрель», 2001. – 399 с.
6. Ярлыкова, Н.А. Методические указания к практическим занятиям по курсам «Метрология, стандартизация и сертификация», «Метрология, стандартизация и технические измерения» / Н.А. Ярлыкова. – Елец: ЕГУ им. И.А. Бунина, 2015. – 89 с.
7. URL:<https://phys-ege.sdamgia.ru> (дата обращения 20.09.2020)

## ПРИЛОЖЕНИЯ

### Приложение 1.

#### Международная система единиц СИ

Величина		Единица		
Наименование	Размерность	Наименование	Обозначение	
			международное	русское
<i>Основные единицы</i>				
Длина	L	Метр	Т	м
Масса	М	Килограмм	Кg	кг
Время	Т	Секунда	S	с
Сила электрического тока	I	Ампер	A	А
Температура термодинамическая	$\theta$	Кельвин	K	К
Количество вещества	N	Моль	mol	моль
Сила света	J	Кандела	Cd	кд
<i>Дополнительные единицы</i>				
Плоский угол	-	РадIAN	rad	рад
Телесный угол	-	Стерaдиан	Sr	ср

## Приложение 2.

### Множители и приставки для образования кратных и дольных единиц SI

Множитель	Приставка			
	Наименование		Обозначение	
	Международное	Русское	Международное	Русское
$10^{24}$	yotta	йотта	Y	И
$10^{21}$	zetta	зетта	Z	З
$10^{18}$	exa	экса	E	Э
$10^{15}$	peta	пета	P	П
$10^{12}$	tera	тера	T	Т
$10^9$	giga	гига	G	Г
$10^6$	mega	мега	M	М
$10^3$	kilo	кило	k	к
$10^2$	hecto	гекто	h	г
$10^1$	deca	дека	da	да
$10^{-1}$	deci	деци	d	д
$10^{-2}$	centi	санти	c	с
$10^{-3}$	milli	милли	m	м
$10^{-6}$	micro	микро	$\mu$	мк
$10^{-9}$	nano	нано	n	н
$10^{-12}$	pico	пико	p	п

Греческий алфавит

Буквы		Название буквы
Α	α	альфа
Β	β	бета
Γ	γ	гамма
Δ	δ	дельта
Ε	ε	эпсилон
Ζ	ζ	дзэта
Η	η	эта
Θ	θ	тэта
Ι	ι	йота
Κ	κ	каппа
Λ	λ	ламбда
Μ	μ	мю

Буквы		Название буквы
Ν	ν	ню
Ξ	ξ	кси
Ο	ο	омикрон
Π	π	пи
Ρ	ρ	ро
Σ	σ	сигма
Τ	τ	тау
Υ	υ	ипсилон
Φ	φ	фи
Χ	χ	хи
Ψ	ψ	пси
Ω	ω	омега

## СОДЕРЖАНИЕ

1. ВВЕДЕНИЕ. ЕДИНИЦЫ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН .....	3
2. МЕХАНИКА .....	4
<b>2.1. КИНЕМАТИКА</b> .....	4
1.1.1. Механическое движение. Характеристики механического движения .....	4
1.1.2. Скорость. Равномерное прямолинейное движение .....	7
1.1.3. Ускорение. Равноускоренное прямолинейное движение .....	9
1.1.4. Свободное падение тел. Движение тела, брошенного под углом к горизонту .....	11
1.1.5. Равномерное движение по окружности .....	13
<b>2.2. ДИНАМИКА. ЗАКОНЫ МЕХАНИКИ НЬЮТОНА</b> .....	15
2.2.1. Инерциальные и неинерциальные системы отчета .....	15
2.2.2. Первый закон Ньютона (закон инерции) .....	15
2.2.3. Масса. Сила. Второй закон Ньютона .....	16
2.2.4. Третий закон Ньютона .....	17
2.2.5. Силы в механике. Сила тяжести. Вес. Невесомость. Закон всемирного тяготения .....	18
2.2.6. Силы упругости. Закон Гука .....	21
2.2.7. Силы трения .....	22
<b>2.3. ЗАКОНЫ СОХРАНЕНИЯ В МЕХАНИКЕ</b> .....	23
2.3.1. Импульс. Закон сохранения импульса .....	23
2.3.2. Работа силы. Мощность .....	25
2.3.3. Энергия. Закон сохранения энергии .....	27
<b>2.4. СТАТИКА</b> .....	30
2.4.1. Условия равновесия тел .....	30
Вопросы к разделу «Механика» .....	33
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....	34
ПРИЛОЖЕНИЯ .....	35

Учебно-методическое издание

Светлана Сергеевна Токарева,  
Наталья Александровна Ярлыкова

## **ПЛАН-КОНСПЕКТ ПО КУРСУ ФИЗИКИ (РАЗДЕЛ «МЕХАНИКА»)**

Учебно-методическое пособие  
для обучающихся  
Центра среднего специального образования

*Технический редактор – О. А. Ядыкина  
Техническое исполнение – В. М. Гришин*

Лицензия на издательскую деятельность  
ИД № 06146. Дата выдачи 26.10.01.  
Формат 60 x 84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Гарнитура Times. Печать трафаретная.  
Печ.л. 2,4 Уч.-изд.л. 2,3  
Тираж 300 экз. Заказ 80

Отпечатано с готового оригинал-макета на участке оперативной полиграфии  
Елецкого государственного университета им. И. А. Бунина

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина»  
399770, г. Елец, ул. Коммунаров, 28,1